



Doctoral Thesis

Analysis and design of compact passive distribution networks for microwave applications

Author(s):

Tudosie, George

Publication Date:

2009

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005916491> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH No 18340

ANALYSIS AND DESIGN OF COMPACT PASSIVE DISTRIBUTION NETWORKS FOR MICROWAVE APPLICATIONS

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by
George Tudosie
Dipl. Ing. Technische Universität Darmstadt, Germany
born September 9, 1978
citizen of Romania

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. C. Hafner, examiner
Prof. Dr. R. Vahldieck, co-examiner
Prof Dr. W. Bächtold, co-examiner
Prof Dr. A. Jacob, co-examiner

2009

Abstract

Various modern radars, radiometers and communication systems move towards the implementation of highly directive and active space filtering radio frequency (RF) front ends. Networks with the capability to form multiple radiation beams are therefore becoming essential.

Addressing the different space sectors at the same time leads to a higher system capacity by re-using the time, code and frequency. Over the years two passive beamforming networks prevailed: the Rotman lens and the Butler matrix. Unfortunately, at lower microwave frequencies as well as for complex systems, the two beam forming networks become quite large and difficult to integrate in compact transceivers.

To overcome this major problem and make the Rotman lens amenable to higher integration, this work introduces on one side a novel lens design using multi-dielectric substrates and folding procedures of the Rotman lenses. Analytical formulations for the design of the multi-dielectric Rotman lenses have been derived. The effort is motivated by the expected size reduction and increased efficiency of the lens. Introducing dielectric slabs of different permittivity within the lens creates an refraction, and therefore, additional focus inside the lens. Parametric and error analyses of the conventional and the new lens structures were carried out and the comparison showed the benefits of the new design in terms of size reduction while maintaining the overall performance properties. The non-uniform substrate is a key change from the conventional Rotman lenses design.

The complexity and size scaling of the Butler matrix on the other side is addressed using the low temperature cofired ceramics (LTCC) technology. A novel Butler matrix design based on folding and stacking of the matrix elements is developed. The geometrical rebuild of the Butler matrix leads to a significant size reduction, modularization thus providing a true 3D integration of the matrix. This again reduces the overall lateral dimension drastically and due to its modular structure offers for the first time extendibility to higher order Butler matrices

The thesis contains a set of multi-dielectric lenses as well as LTCC Butler matrixes. This beamforming networks were realized and measured to validate the stratagem behind the integrative solution.

Zusammenfassung

Moderne Radar-, Radiometern- und Kommunikationssysteme erfordern hochdirektive und raumselektive Antennengruppen. Eine gleichzeitige Auswertung unterschiedlicher Raumrichtungen ermöglicht die Wiederverwendung derselben Zeitfenster, Kodierungen und Frequenzkanälen. Schlüsselkomponenten dieser Systeme sind Netzwerke, welche gleichzeitig mehrfache Abstrahlcharakteristiken mithilfe einer einzigen Antennengruppe bilden können.

Im Verlauf der Zeit waren es überwiegend zwei passive Netzwerke, die den Weg in praktische Anwendungen gefunden haben: die Rotman-Linse und die Butler Matrix. In kompakten Sendeempfängern und im Bereich niederfrequenter Applikationen sind diese zwei wichtigen Netzwerke wegen ihrer Komplexität und Größe unmöglich oder sehr schwierig einzubauen.

Ziel dieser Arbeit war es, diese bedeutende Hürde zu überwinden und sowohl die Rotman-Linsen als auch die Butler Matrix für eine kompaktere Integration zu erweitern.

Erstens wurden für die Rotman-Linsen neue Linsenausführungen verwendet, die mittels mehrfacher dielektrischer Substrate und einer geometrischen Faltung eine Größenreduktion erzielen. Gleichzeitig wurde dafür eine neue analytische Ableitung entwickelt. Dadurch konnte erstmals eine Verkleinerung, aber auch eine Effizienzverbesserung der Linse erreicht werden. Die Verwendung von dielektrischen Streifen unterschiedlicher Permittivität innerhalb der Linse ergibt eine zusätzliche Brechung und, daraus folgend, einen Fokus innerhalb der Linse. Die Parameter- und Fehleruntersuchungen der bisher bekannten und der neuen Linsenstrukturen konnten die geometrische Reduktion bei gleichzeitigem Beibehalten der generellen Leistungseigenschaften festigen.

Zweitens konnten die Komplexität und die Größenreduktion der Butler Matrix mithilfe von Niedertemperatur-Einbrand-Keramiken (LTCC) erreicht werden. Ein neues Verfahren, basierend auf der Faltung und dem Aufstapeln der Elemente einer Matrix, wurde entwickelt. Die geometrische Rekonstruktion der Matrix anhand eines modularen Aufbaus zeigte eine deutliche Verkleinerung der Flächengröße, wobei die elektrische Leistung exzellent blieb. Diese 3D-Integration der Butler Matrix reduziert wiederum die seitliche Ausdehnung deutlich und ermöglicht – erstmalig – die Verwirklichung von Matrizen höherer Ordnung.

In dieser Arbeit werden sowohl eine Reihe von Rotman-Linsen mit Mehrfachsubstraten beschrieben und analysiert, als auch eine Serie von LTCC Butler Matrizen. Anhand deren Aufbaus und der anschließenden Messungen konnte die integrative Strategie untermauert werden.